

LA SUBSIDENZA NELL'ITALIA CENTRO-SETTENTRIONALE DA MISURE GPS

P. Baldi¹, G. Casula², N. Cenni³, F. Loddo², A. Pesci², M. Bacchetti¹

¹ Dipartimento di Fisica, Università degli Studi di Bologna

² Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Sezione di Bologna

³ Dipartimento Scienze della Terra, Università degli Studi di Siena

La grande diffusione negli ultimi anni di reti di stazioni GPS permanenti istituite per scopi commerciali come il posizionamento in tempo reale, può rappresentare un'importante integrazione alla già esistente rete scientifica di monitoraggio della deformazione crostale. Le stazioni commerciali sono solitamente equipaggiate con ricevitori a doppia frequenza e antenne tipo *choke ring*. Una possibile differenza fra queste e le stazioni scientifiche consiste nell'approccio utilizzato per la scelta del sito e per la monumentazione. Per questo motivo prima di utilizzare le osservazioni acquisite dalle stazioni commerciali per analisi di tipo scientifico bisogna verificare se i protocolli di installazione e gestione di questi non introducano nuove sorgenti di rumore nei dati o aumentino quelle già esistenti. In questo studio, abbiamo confrontato le caratteristiche principali delle serie temporali di 112 stazioni commerciali situate nell'Italia Centro-Settentrionale con quelle di 81 stazioni scientifiche presenti nella medesima zona (Fig. 1). Le osservazioni delle 112 stazioni commerciali prese in esame sono fornite dalle seguenti agenzie pubbliche e private: ASSOGEO, LABTOPO, Rete Regione Veneto, SOGER, IREALP, Rete Arpa Piemonte e Regione Abruzzo; e i dati delle 81 stazioni scientifiche sono stati invece acquisiti dagli archivi informatici di 5 diverse istituzioni pubbliche: ASI, INGV – RING, EUREF, FREDNET e Rete Toscana. Le osservazioni di tutte le stazioni considerate in questo lavoro sono state analizzate mediante il software GAMIT/GLOBK versione 10.34 e successive utilizzando la procedura denominata *distributed processing* (Dong et alii, 1998), che consente di analizzare reti con un alto numero di stazioni suddividendole in diverse sottoreti distinte, compensando successivamente i risultati ottenuti in un'unica soluzione. I dati analizzati si riferiscono al periodo 1 gennaio 2001 – 30 Agosto 2009; le stazioni sono state suddivise in 9 diverse sottoreti, all'interno delle quali sono state sempre incluse anche le osservazioni dei seguenti 5 siti IGS/EUREF: CAGL, GRAZ, MATE, WTZR e ZIMM (Fig. 1). Ciascuna rete è stata analizzata imponendo dei vincoli deboli alle coordinate delle stazioni.

Le soluzioni giornaliere delle 9 sottoreti sono state combinate utilizzando il software GLOBK e successivamente la soluzione complessiva è stata allineata al sistema di riferimento ITRF2005 mediante una rotazione – traslazione, utilizzando le coordinate e le velocità fornite dagli enti preposti (IGS) delle seguenti 5 stazioni IGS/EUREF: CAGL, GRAZ, MATE, WTZR e ZIMM (Fig. 1). Al termine di questa procedura di calcolo per ciascuna stazione sono state estratte le serie temporali giornaliere delle componenti Nord, Est e Quota della posizione in un sistema di rife-

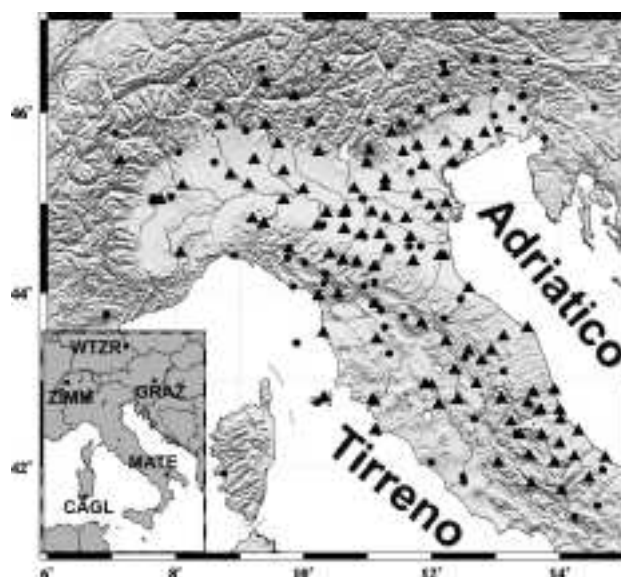


Fig. 1 - Distribuzione delle stazioni scientifiche (cerchi) e commerciali (triangoli) esaminate in questo studio. Nel riquadro sono riportate le 5 stazioni permanenti utilizzate per inquadrare le soluzioni giornaliere nel sistema di riferimento ITRF2005.

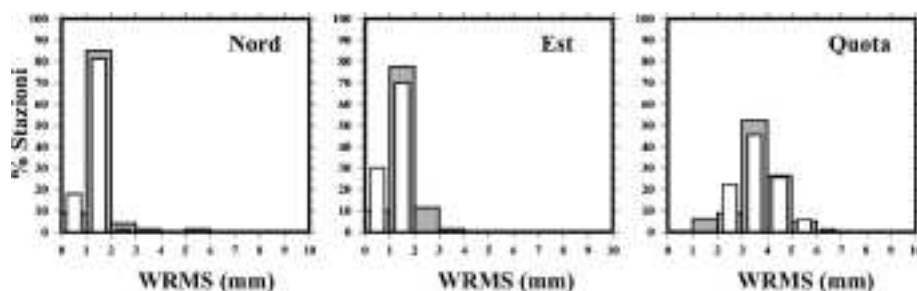


Fig. 2 – Confronto tra i valori dello scarto quadratico medio pesato (WRMS) ottenuti considerando l'insieme delle stazioni scientifiche (grigio) e quello delle stazioni commerciali (bianco). Da questa analisi sono state escluse le stazioni con meno di 1 anno di osservazione.

rimento geodetico locale. Successivamente, la serie temporale di ciascuna componente è stata analizzata in modo indipendente dalle altre allo scopo di eliminare eventuali dati anomali (*outlier*). Le serie temporali delle tre componenti sono state poi analizzate utilizzando il software CATS (Williams, 2008) per stimare la dimensione dei salti avvenuti in corrispondenza degli interventi di manutenzione noti, la velocità media di spostamento e l'ampiezza dei segnali periodici annuali.

Per valutare se le osservazioni delle stazioni commerciali possono essere utilizzate per studi di carattere scientifico è necessario verificare se le serie temporali giornaliere della posizione di questi siti hanno caratteristiche in termini di rumore e segnali periodici simili a quelle dei siti scientifici, in modo tale da poter ottenere risultati con una precisione equivalente a questi ultimi. Per questo motivo è necessario prima di tutto confrontare le caratteristiche di tali serie. Un semplice parametro che può essere utilizzato per questo confronto, come dimostrato da alcuni recenti lavori (Baldi et alii, 2009), è rappresentato dal valore dello scarto quadratico medio pesato (WRMS), rappresentativo della dispersione delle serie di ciascuna componente e direttamente correlato con la precisione con cui è possibile stimare la velocità della stazione.

La Fig. 2 mostra il confronto tra i valori del WRMS ottenuti analizzando le serie temporali delle stazioni scientifiche (grigio) e quelle commerciali (bianco); come è possibile notare le due distribu-

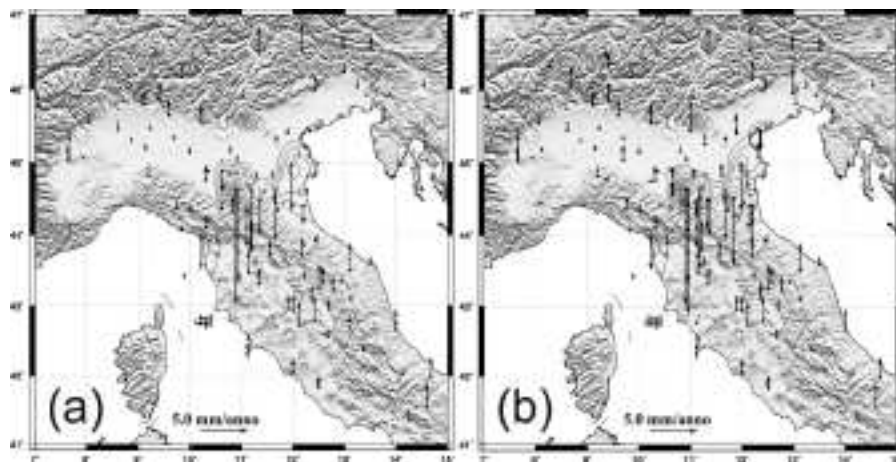


Fig. 3. a) Quadro cinematico verticale nell'Italia Centro – Settentrionale ottenuto considerando solo le stazioni con un intervallo di osservazione superiore ai 2.5 anni. b) Campo di velocità verticale ricavata inserendo anche le stazioni con un intervallo di osservazione tra 1 anno e 2.5 anni.

zioni sono simili per le tutte e tre le componenti. I valori dell'ampiezza dei segnali periodici annuali presenti nelle serie temporali giornaliere delle 3 componenti della posizione per le stazioni commerciali, inferiore a 2 mm per circa il 70% dei siti ed analoga a quella riscontrabile nei siti scientifici, rappresenta un'ulteriore prova della limitata incidenza che il diverso tipo di installazione della stazione ha sulle caratteristiche di queste serie. Questi risultati ci incoraggiano ad utilizzare le osservazioni delle stazioni commerciali per studi e monitoraggi di carattere scientifico: è possibile quindi ricostruire con una buona risoluzione spaziale il quadro cinematico verticale nell'Italia Centro – Settentrionale. Questo risultato indica che le diverse modalità di installazione ed uso delle stazioni commerciali rispetto a quelle scientifiche non aumenta mediamente il rumore presente nelle serie. Inoltre, come si evince dalla Fig. 2, i valori di WRMS ottenuti per entrambi gli insiemi di stazioni, inferiore a 2 mm per le componenti orizzontali (Nord ed Est) e 4/5 mm per la componente verticale, sono compatibili con i risultati ottenuti da altri autori dall'analisi di altre reti di stazioni GPS permanenti.

Tab. 1 – Confronto tra le velocità verticali (mm/anno) stimate utilizzando tecniche di misura differenti. LL indica misure di livellazione eseguite dal 1995 al 2005 relative a capisaldi vicini alle stazioni GPS. DInSar rappresenta il risultato dell'analisi differenziale di dati SAR acquisiti dal 2002 al 2006.

Località	Sito	LL	DinSAR	GPS
Bologna	BOLG	-18		-3.2
Codigoro	CODI	-6	-8	-1.7
Collecchio	COLL		-1	-2.2
Conselice	CONS		-8	
Ferrara	UNFE	-3		-1.1
Finale Emilia	MO05		-4	-1.9
Guastalla	GUAS		-1	-4.0
Imola	IM01	-3		-0.2
Medicina	MEDI		-5	-0.5
Mirandola	MO04		-2	-1.0
Modena	MO01	-3		-15.7
	MODE	-2		-12.5
	MOPS	-2		-15.1
Molinella	BO03	-6		-4.9
Parma	PARM		-1	-0.4
Piacenza	PIAC		0	-0.2
Ravenna	RA01	-6		
	RAVE	-6		-2.1
	RAVS	-5		-4.7
Reggio Emilia	REGG	-1		
Rimini	ITRI	-6	-4	
San Giovanni in P.	SGIP	-7		-7.0

La Fig. 3a mostra il campo di velocità che si ottiene utilizzando le informazioni relative alle stazioni scientifiche e commerciali con un periodo di osservazione superiore ai 2.5 anni, periodo di tempo indicato come sufficiente per considerare attendibili le stime di velocità da osservazioni GPS.

Allo scopo di aumentare la risoluzione spaziale del quadro ottenuto abbiamo considerato nell'analisi (Fig. 3b) anche i siti con un periodo di osservazione tra 1 e 2.5 anni e, come è possibile notare, questi risultati meno attendibili confermano quelli ricavabili con le sole stazioni più "anziane". La mappa delle deformazioni evidenzia in maniera netta le due aree presenti nell'Italia Centro – Settentrionale interessate da fenomeni di subsidenza: la Pianura Padana ed il bacino sedimentario dell'Arno. Inoltre, i siti localizzati sulla catena appenninica risultano in lieve sollevamento (1-2 mm/anno), in accordo con stime ottenute utilizzando altre tecniche geodetiche o studi di carattere

geologico. La Pianura Padana è storicamente affetta da forti fenomeni di subsidenza prevalentemente legati all'estrazione di fluidi dal sottosuolo; l'evoluzione temporale è ben nota, grazie alle misure geodetiche effettuate nel passato e recentemente integrate da analisi di dati da satellite (DInSAR) gestite da enti locali o da istituzioni pubbliche e private (si veda ad esempio, Arca, Beretta, 1985, Bitelli et alii, 2000; Stamondo et alii, 2007). La stabilità o la diminuzione delle velocità di abbassamento è generalmente confermata dai risultati di questo studio; in Tab. 1 sono stati riportati i valori di velocità ottenuti recentemente con le tecniche di livellazione e DInSAR in caposaldi posizionati in prossimità di siti GPS considerati nell'analisi sopra descritta. È evidente un forte aumento della subsidenza nell'area di Modena.

Bibliografia

- Arca, S., Beretta, G.P.; 1985: Prima sintesi geodetica-geologica sui movimenti verticali del suolo nell'Italia Settentrionale. *Boll. Di Geod. E Sci. Aff.*, 44, (2), 125-156.
- Baldi P., Casula G., Cenni N., Loddo F., Pesci A.; 2009: GPS-based monitoring of land subsidence in the Po Plain (Northern Italy). *Earth Planet. Sci. Lett.*, Accepted.
- Bitelli, G., Bonsignore, F., Ungendoli, M.; 2000: Levelling and GPS networks to monitor ground subsidence in the Southern Po Valley. *Journal of Geodynamics*. 30, 355-369.
- Dong, D., Herring, T.A., King, R.W.; 1998: Estimating regional deformation from a combination of space and terrestrial geodetic data. *J. Geod.*, 72: 200-214.
- Stramondo, S., Saroli, M., Tolomei, C., Moro, M., Doumaz, F., Pesci, A., Loddo, F., Baldi, P., Boschi, E.; 2007: Surface movements in Bologna (Po Plain — Italy) detected by multitemporal DInSAR. *Rem. Sensing of Environment*. 110, 3, 304-316.
- Williams, S.D.P.; 2008: CATS: "GPS coordinate time series analysis software". *GPS Solutions*, 12, 147-153, doi:10.1007/s10291-007-0086-4.

INTEGRAZIONE DELLA TOMOGRAFIA DEI TEMPI D'ARRIVO CON L'INVERSIONE DELLE ONDE SUPERFICIALI PER LA DEFINIZIONE DI STRUTTURE SUPERFICIALI

G. Böhm¹, G. Vignoli^{2,3}, G. Cassiani²

¹ Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale - OGS, Trieste

² Università di Padova – Dipartimento di Geoscienze

³ Università di Ferrara – Centro Math4Tech

Questo lavoro nasce da una collaborazione tra OGS ed il Dip. di Geoscienze dell'Università di Padova con lo scopo di sviluppare un codice per l'inversione congiunta tra tomografia dei tempi d'arrivo e l'inversione delle onde superficiali, per verificare la possibilità di sfruttare quest'ultime insieme all'informazione proveniente dall'inversione tomografica dei primi arrivi (onde tipo *diving*) in applicazioni che richiedano correzioni statiche precise. Per il modello da utilizzare come test d'inversione si è pensato di costruire una struttura multistrato a gradiente verticale di velocità e con forte eterogeneità laterale nella parte più superficiale (Fig. 1). Questo modello rappresenta una situazione "tipo" presente in alcune zone desertiche dove ad un gradiente più o meno costante di velocità con la profondità si associa un corpo molto superficiale con una velocità relativamente più alta della roccia circostante. La presenza di questo corpo in molti casi non viene individuata correttamente (anche quando sono presenti affioramenti in superficie) creando problemi ed errori nella fase interpretativa delle sezioni sismiche. Una corretta valutazione della sua estensione e quindi una conseguente corretta applicazione delle correzioni statiche ai dati determina, nelle sezioni sismiche, una miglior definizione delle strutture presenti nel sottosuolo, sia in superficie che in profondità.

Per la parte d'inversione con le onde superficiali è stato utilizzata la tecnica MOPA (Multi Offset Phase Analysis, Strobbia e Foti, 2006.) modificata da Vignoli e Cassiani (2009), che permette l'individuazione di eterogeneità laterali di velocità anche per zone molto superficiali. Per generare il modello diretto è stato utilizzato il programma SEM2DPACK, simulando uno scoppio ubicato a sinistra del modello con 180 geofoni posti a 10 m di distanza tra loro (frequenza caratteristica $f_0=20\text{Hz}$) (Fig. 2 a sinistra). Per quanto riguarda l'inversione delle onde superficiali si è preventi-